Die Säkularvariation des Erdmagnetismus

auf Grund der

erdmagnetischen Isanomalen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

ACAD. LUGDUNAT. BIBL.

von

Gustav Wussow

aus Calau i. d. Mark.

Tag der Promotion: 24. November 1906.

Referenten:

Professor Dr. v. Bezold.

Professor Dr. Drude.

Buchdruckerei A. W. Schade, Berlin N., Schulzendorfer Straße 26.

Meinen Eltern

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548904_0037

Bereits im Altertum war die Eigenschaft des Magnetsteines, Eisenteile festzuhalten, bekannt, und in weit zurückliegender Zeit segelten schon chinesische Fahrzeuge im indischen Ozean nach magnetischer Südweisung. Das früheste abendländische Zeugnis über die Verwendung der magnetischen Richtkraft bei der Schiffahrt stammt nach G. Hellmann[1]) aus der Zeit von etwa 1180—1190. In seinem Werke „De Utensilibus" erwähnt Alexander Neckam bereits damals die Aufhängung der Magnetnadel auf einem Stift im Gegensatz zur Wasserbussole, bei der man mittelst eines Gestelles aus Holz oder einem anderen leichten Material die Nadel auf dem Wasser schwimmen ließ. Allgemein glaubte man, daß die magnetische Deklination, sowie deren räumliche Verschiedenheit von Christoph Columbus auf seiner ersten Fahrt nach Amerika gefunden worden sei. G. Hellmann weist darauf hin[1]), daß die magnetische Deklination bei der Konstruktion von Taschensonnenuhren, welche zur Einstellung in den astronomischen Meridian mit einer Magnetnadel versehen waren, auf dem Festlande selbständig entdeckt worden sein muß. A. Wolkenhauer[2]) hat vor kurzem drei derartige Instrumente, die aus der Zeit vor Columbus stammen, nachgewiesen. Die interessanteste dieser Uhren befindet sich im Museum Ferdinandeum zu Innsbruck, sie stammt aus dem Jahre 1451 und war wahrscheinlich für den Kaiser Friedrich III bestimmt. Sie beweist durch die Einprägung

[1]) Hellmann: Die Anfänge der magnetischen Beobachtungen, Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1897.

[2]) A. Wolkenhauer: Beiträge zur Geschichte der Kartographie und Nautik des 15. bis 17. Jahrhunderts. München 1904. (Mitteil. d. Geogr. Gesellsch. zu München, Bd. I, Heft 2.)

der Abweichungslinie des Magneten, daß man die Deklination bereits zu jener Zeit kannte. Die Inklination wurde im Anfange des 16. Jahrhunderts von Georg Hartmann in Nürnberg entdeckt. Später wurde die Variation der Deklination nach Ort und Zeit nachgewiesen, und 1722 entdeckte Graham die täglichen Variationen.

Die Verteilung der magnetischen Elemente an der Erdoberfläche pflegt man bereits seit langem durch Karten darzustellen. Man verbindet diejenigen Punkte der Erdoberfläche durch Linien miteinander, an denen Deklination, Inklination oder Intensität gleiche Werte besitzen, und erhält so Karten der Isogonen, Isoklinen, Isodynamen usw. Die erste derartige Karte ist die Isogonenkarte von Halley aus dem Jahre 1699. Großes Aufsehen machten zu Anfang des 19. Jahrhunderts die „Untersuchungen über den Magnetismus der Erde“ mit Atlas von Chr. Hansteen, welche bewirkten, daß auf fast allen seitdem veranstalteten Forschungsreisen erdmagnetische Beobachtungen gemacht wurden. Von grundlegender Bedeutung für die Erkenntnis der erdmagnetischen Kräfte sind die Arbeiten von Carl Fr. Gauß, welche in dem von ihm gemeinsam mit W. Weber in den Jahren 1837—1840 herausgegebenen „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins“, sowie in dem „Atlas des Erdmagnetismus“ für die Epoche 1830 enthalten sind. Im Jahre 1891 gab G. Neumayer einen Atlas des Erdmagnetismus heraus, welcher auf Grund genauer Rechnungen und Messungen in mustergültiger Weise die Verteilung der erdmagnetischen Elemente durch verschiedene Liniensysteme für die Epoche 1885 zur Anschauung bringt.

Ein großes Verdienst um die Erkenntnis der Verteilung des Erdmagnetismus an der Erdoberfläche erwarb sich W. v. Bezold[1]) dadurch, daß er diesen Linien ein Liniensystem hinzufügte, durch welches die Verteilung der erdmagnetischen Elemente bedeutend anschaulicher gemacht wird, als wie es durch die oben angeführten Linien möglich ist, nämlich die erdmagnetischen Isanomalen.

Sogenannter Isanomalen bediente sich zuerst Dove bei der Betrachtung der Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche. Er bil-

[1]) W v. Bezold: Sitzungsbericht der königl. preuß. Akademie 1895, XVIII.

dete die Differenzen zwischen den Mitteltemperaturen der einzelnen Orte und jenen der ganzen Parallelkreise, auf denen die betreffenden Orte liegen. Die Isanomalen sind dann die Verbindungslinien aller Punkte, an denen diese Differenzen gleiche Werte haben.

Für die gewöhnlichen magnetischen Elemente bieten die Isanomalen ebenso wie für die Temperatur ein sehr bequemes Hülfsmittel, um gewisse Unregelmässigkeiten in deren Verteilung recht deutlich hervortreten zu lassen. Eine weit höhere Bedeutung haben sie jedoch, wenn man sie auf das erdmagnetische Potential anwendet. In diesem Falle stellen sie nämlich die Gleichgewichtslinien eines Systems dar, das man sich über ein anderes als normal angesehenes gelagert denken muß, um die tatsächlich beobachtete Verteilung zu erhalten.

Die im folgenden dargebotenen Ausführungen und Untersuchungen bezwecken:

1) für eine jüngere Epoche, nämlich für 1885, eine für den ganzen Verlauf der Linien möglichst genaue Isanomalenkarte herzustellen und

2) durch Vergleich dieser Karte mit Karten aus früheren Epochen Schlüsse auf die Säkularvariation des Erdmagnetismus zu ziehen.

Ist das an einem beliebigen Punkte der Erdoberfläche herrschende Potential V, der Mittelwert des Potentials für den ganzen Parallelkreis V_n und die Anomalie, d. h. die Abweichung des Ortswertes von jenem Mittelwert V_n, so gilt stets die Gleichung

$$V = V_n + V_a.$$

In der Sitzung der Berliner Akademie am 19. Januar 1893 hat W. v. Bezold bereits mitgeteilt, daß V_n beinahe genau durch die Formel

$$\frac{V}{R} = \frac{K}{R} \cdot \sin \beta$$

ausgedrückt wird, wobei man mit β die geographische Breite bezeichnet, und die Konstante K den Wert 0,330 hat. G. A. Schmidt machte später darauf aufmerksam, daß man einen ähnlichen Ausdruck erhält, wenn man in der Gaußschen Reihe für den Wert des erdmagnetischen Potentials nur das erste Glied berücksichtigt, und L. A. Bauer bemerkt, daß durch diese Formel das Potential

an der Oberfläche einer gleichförmig magnetisierten Kugel dargestellt wird, deren magnetisches Moment bezogen auf ihre magnetische Axe $= \frac{K}{R} . R^3 = g^{1,0} . R^3$ ist, wobei unter $g^{1,0}$ der erste Koeffizient der Gaußschen Reihe verstanden ist. Diese wichtige Formel wurde in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie vom 4. April 1895 veröffentlicht. Es muß überraschen, daß Alexis v. Tillo in den Comptes rendus der Pariser Akademie ein viertel Jahr später, am 8. Juli 1895, ohne obige Publikation zu erwähnen, unter anderen eine Formel

$$V = H_0 . \sin \varphi$$

veröffentlicht, in welcher mit φ wiederum die geographische Breite bezeichnet ist, während H_0 den Wert 0,328 besitzt. Die dort gleichzeitig angegebenen Formeln für die mittlere Horizontalintensität, Totalintensität, Deklination und Inklination dürften nicht ganz einwandfrei sein, da v. Tillo die an verschiedenen Punkten eines Parallelkreises geltenden Werte direkt zu Mittelwerten vereinigt. Dieses Verfahren ist aber, wie W. v. Bezold in einer späteren Abhandlung[1]) zeigt, ebenso unzulässig, als wenn man aus Kräften, die an ein und demselben Punkte angreifen, das arithmetische Mittel bilden wollte. Zur strengen Mittelbildung eignen sich nur das Potential und die Komponenten.

Ist nun der Wert der Konstanten K bekannt, so ist es nicht allzu schwierig, mit Hülfe einer Karte der magnetischen Gleichgewichtslinien eine Karte der Isanomalen des erdmagnetischen Potentials herzustellen. Berechnet man aus der Formel

$$\frac{V_n}{R} = \frac{K}{R} . \sin \beta$$

diejenigen Breiten, für welche V_n den auf der Karte der Gleichgewichtslinien gegebenen Werten entsprechende Werte hat, so geben die Schnittpunkte der so berechneten Parallelkreise mit den Gleichgewichtslinien bestimmte Werte der Anomalie. Verbindet man diejenigen Punkte der Erdoberfläche, für welche V_a, d. h. die Abweichungen vom Mittelwert gleich sind, so erhält man die Isanomalen des erdmagnetischen Potentials.

[1]) W. v. Bezold: Sitzungsbericht der königl. preuß. Akademie 1895, L.

Auf die angegebene Weise wurden von mir die Isanomalen für die Epochen 1830 und 1885 konstruiert. Für die erstere wurden die Gleichgewichtslinien $\frac{V}{R}$, wie sie in dem Atlas von Gauß und Weber[1]) gezeichnet sind, benutzt, während für die Epoche 1885 die Linien des Neumayerschen Atlas[2]) verwendet wurden. Hier ist zu erwähnen, daß in dem älteren Atlas als Krafteinheit die willkürliche Einheit W. E. gebraucht ist, während in dem Neumayerschen Atlas die elektrische Einheit C. G. S. Verwendung findet. Für Vergleichszwecke muß man also die Angaben in willkürlichen Einheiten auf die jetzt allgemein angewendete C. G. S.-Einheit zurückführen, was dadurch geschieht, daß man sie mit 1000 multipliziert und zu dem Logarithmus der so erhaltenen Zahl den Logarithmus von 0,0034941 = 7,5433353 hinzufügt, wodurch man den Logarithmus der Gaußschen Einheit, d. h. des Zehnfachen der C. G. S.-Einheit erhält.

Die Konstante K, die ja gleich der Gaußschen Konstanten $g^{1,0}$ ist, hat nach Neumayer und Petersen für die Epoche 1885 den Wert 0,315720, für 1830 beträgt sie 0,323477. Ich berechnete nun für die Werte V_n = 0,01 C. G. S, 0,02 C. G. S. usw. die entsprechenden Breitengrade, welche in der Tabelle 1 enthalten sind.

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, sind die Abweichungen der beiden Epochen nicht unwesentliche, so ist dieselbe für 0,10 C. G. S. 0°28', für 0,20 C. G. S. 1°07' und für 0,30 C. G. S. 3°49'.

Zieht man in den Karten der Gleichgewichtslinien die in der Tabelle angegebenen Parallelkreise, so sind aus den Schnittpunkten derselben mit den Gleichgewichtslinien leicht die Isanomalen zu konstruieren. Die in der Karte 1 dargestellten Isanomalen für die Epoche 1830 sind nach der soeben angegebenen Methode gezeichnet worden, während die in der Karte 4 gegebenen Linien für 1885 durch eine später zu erläuternde Rechnung gewonnen sind. Allerdings habe ich diese Isanomalen auch nach der ersten Methode gezeichnet und beim Vergleich der auf verschiedene

[1]) Gauß und Weber: Atlas des Erdmagnetismus, Leipzig 1840.

[2]) G. Neumayer: Atlas des Erdmagnetismus (Berghaus' physikalischer Atlas, Abteilung IV), 1891.

Tabelle 1.

C. G. S.-Einheiten	β für K = 0.323477 (1830)	β für K = 0.315720 (1885)
0.01	1° 46′	1° 49′
0.02	3 33	3 38
0.03	5 19	5 27
0.04	7 06	7 17
0.05	8 56	9 06
0.06	10 41	10 57
0.07	12 30	12 49
0.08	14 19	14 40
0.09	16 09	16 33
0.10	18 00	18 28
0.11	19 53	20 23
0.12	21 47	22 20
0.13	23 42	24 19
0.14	25 39	26 19
0.15	27 38	28 22
0.16	29 39	30 27
0.17	31 42	32 35
0.18	33 49	34 45
0.19	35 58	37 00
0.20	38 11	39 18
0.21	40 29	41 42
0.22	42 51	44 10
0.23	45 19	46 46
0.24	47 54	49 29
0.25	50 37	52 21
0.26	53 30	55 26
0.27	56 35	58 47
0.28	59 57	62 29
0.29	63 42	66 43
0.30	68 02	71 51

Weise gewonnenen Linien eine gute Übereinstimmung gefunden vor allem in den Punkten, die für die späteren Betrachtungen von Bedeutung sind. Geringe Abweichungen findet man hauptsächlich dort, wo die Isanomalen sich den Parallelkreisen anschmiegen. Die Ursache dafür liegt darin, daß an diesen Orten auch die Gleichgewichtslinien den Breitenkreisen annähernd parallel verlaufen, beziehungsweise sie tangieren. Aus diesem Grunde ist es an diesen Stellen schwierig, genau die Schnittpunkte, die für die Konstruktion der Isanomalen maßgebend sind, zu bestimmen.

Die Karte 2 zeigt die von A. v. Tillo[1]) für die Epoche 1857 entworfenen Isanomalen, während in der Karte 3 die von W. v. Bezold[2]) durch Rechnung gewonnenen Linien zur Darstellung gelangen.

Ebenfalls durch Rechnung sind die in der Karte 4 gezeichneten Isanomalen gewonnen worden. Die rechnerische Methode ist ja bedeutend mühsamer als die oben angegebene und für die Karte 1 in Anwendung gebrachte. Es lag mir jedoch daran, gerade für 1885 eine für den ganzen Verlauf der Linien möglichst genaue Isanomalenkarte zu zeichnen, da für diese Epoche die von Neumayer[3]) entworfenen vorzüglichen Karten der Isogonen, Gleichgewichtslinien, Isoklinen und der Linien gleicher Horizontal-Intensität vorhanden sind.

Bezeichnet man die geographische Breite mit β, die Länge mit λ, die nach Osten gerichtete Komponente der Horizontalintensität mit Y, das Element des Parallelkreises entsprechend mit dy und den Radius der kugelförmig gedachten Erde mit R, so läßt sich nachweisen, daß für die Anomalie die Formel gilt:

$$V_a = \int Y \, dy + C.$$

Die Ableitung dieser Formel gibt W. v. Bezold in der bereits erwähnten Abhandlung über die Isanomalen des erdmagnetischen Potentials, in welcher die Theorie dieser Linien entwickelt

[1]) A. v. Tillo: Atlas des isanomales et des variations séculaires du magnétisme terrestre. Petersburg 1895.

[2]) W. v. Bezold: Sitzungsbericht der königl. preuß. Akademie 1895, XVIII.

[3]) G. Neumayer: Atlas des Erdmagnetismus (Berghaus' physikalischer Atlas, Abteilung IV), 1891.

Tabelle 3. Werte der Anomalie in C. G. S.-Einheiten für die Epoche 1885.

β:	Äqu.	10° s.	20° s.	30° s.	40° s.	50° s.	60° s.
λ = 0° ö.	+0.001	+0.014	0.027	0.035	0.043	0.048	0.048
10	—0.008	—0.000	+0.014	0.032	0.045	0.046	0.038
20	—0.021	—0.014	—0.001	0.017	0.032	0.035	0.030
30	—0.032	—0.026	—0.014	+0.003	0.018	0.024	0.022
40	—0.040	—0.036	—0.026	—0.010	+0.005	0.013	0.013
50	—0.046	—0.044	—0.036	—0.022	—0.007	+0.002	+0.004
60	—0.050	—0.050	—0.044	—0.032	—0.018	—0.009	—0.005
70	—0.053	—0.054	—0.050	—0.040	—0.029	—0.020	—0.014
80	—0.053	—0.057	—0.055	—0.048	—0.039	—0.030	—0.022
90	—0.053	—0.058	—0.059	—0.056	—0.049	—0.040	—0.031
100	—0.051	—0.058	—0.062	—0.062	—0.057	—0.048	—0.038
110	—0.048	—0.057	—0.064	—0.066	—0.064	—0.056	—0.044
120	—0.045	—0.055	—0.064	—0.068	—0.067	—0.061	—0.047
130	—0.043	—0.053	—0.063	—0.068	—0.068	—0.063	—0.050
140	—0.040	—0.049	—0.059	—0.065	—0.067	—0.062	—0.050
150	—0.035	—0.043	—0.053	—0.060	—0.063	—0.060	—0.049
160	—0.028	—0.036	—0.045	—0.052	—0.057	—0.050	—0.048
170	—0.019	—0.026	—0.036	—0.043	—0.049	—0.049	—0.043
180	—0.010	—0.016	—0.026	—0.034	—0.041	—0.043	—0.039
170° w.	—0.000	—0.007	—0.016	—0.025	—0.032	—0.035	—0.034
160	+0.008	+0.002	—0.008	—0.016	—0.024	—0.030	—0.029
150	0.014	0.009	+0.001	—0.008	—0.017	—0.023	—0.024
140	0.019	0.015	0.008	+0.000	—0.009	—0.016	—0.019
130	0.025	0.021	0.016	0.008	—0.002	—0.009	—0.013
120	0.030	0.027	0.023	0.016	+0.006	—0.002	—0.006
110	0.036	0.035	0.032	0.025	0.016	+0.008	+0.002
100	0.044	0.044	0.042	0.035	0.026	0.018	0.011
90	0.053	0.054	0.053	0.047	0.038	0.030	0.021
80	0.061	0.065	0.066	0.059	0.051	0.042	0.032
70	0.068	0.074	0.076	0.070	0.063	0.054	0.042
60	0.071	0.079	0.082	0.077	0.072	0.063	0.051
50	0.071	0.080	0.084	0.081	0.077	0.069	0.057
40	0.065	0.076	0.081	0.079	0.076	0.071	0.060
30	0.054	0.066	0.073	0.073	0.072	0.069	0.060
20	0.037	0.050	0.060	0.064	0.065	0.064	0.058
10°	0.018	0.032	0.044	0.050	0.055	0.057	0.054

ist, trennt, nennt man die Normale des Potentials. Sie ist in Wirklichkeit eine in sich geschlossene Linie, doch spricht man von zwei Normalen, da sich die beiden Hälften dieser Linie auf den in Mercators Projektion entworfenen Karten als zwei getrennte Linien darstellen. Diejenigen Stellen der Erdoberfläche, an denen die Anomalie ein Maximum oder Minimum wird, heißen Pole der Isanomalen, deren nördlichste beziehungsweise südlichste Punkte man wiederum als ihre Scheitel bezeichnet. Pole sowohl wie Scheitel müssen auf der agonischen Linie, d. h. auf der Linie liegen, welche die Punkte miteinander verbindet, an welchen die Richtung der Deklinationsnadel in den astronomischen Meridian fällt. In der Tabelle 4[1]) sind die größten positiven und negativen Werte der Anomalie für die vier Epochen zusammengestellt. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß diese Werte mit der Zeit veränderlich sind, jedoch dürfte dieser Veränderung eine große Bedeutung wohl kaum zuzusprechen sein, bedeutend wichtiger erscheint vielmehr die Veränderung der Lage der Pole, auf die später näher eingegangen werden soll.

Die Karte 5 gibt eine Zusammenstellung der Pole für die Jahre 1830, 1857, 1880 und 1885. Die Pole befinden sich in der großen Australischen Bucht und der Bucht von Rio de Janeiro. Sie liegen auf den agonischen Linien, und die Gebiete der positiven nnd negativen Pole werden durch die Normalen getrennt. Die Normalen verlaufen von Süden aus gerechnet einerseits vom 60. Grad östlicher Länge an der Westküste Afrikas und Europas entlang nach Island und Ostgrönland, andererseits vom 110. Grad westlicher Länge über die Polynesischen Inseln und Sandwich-Inseln hinweg durch den Stillen Ozean über Alaska nach der Beringstraße. Die agonischen Linien verlaufen vom 140. Grad östlicher Länge durch die große Australische Bucht, West-Australien, westlich von Vorder-Indien, durch das Arabische Meer nach dem Kaspischen Meer, am Uralgebirge entlang nach dem Weißen Meer, beziehungsweise vom 30. Grad westlicher Länge durch die Bucht von Rio de Janeiro, Ost-Brasilien, über die Antillen, das nordamerikanische Seengebiet nach dem magnetischen Pol.

[1]) Siehe Seite 19.

Vergleicht man die Isanomalenkarte mit der Karte der Totalisodynamen, so findet man natürlich, daß in der Nähe der Pole auch das Maximum sowie das Minimum der Totalintensität liegt. Es liegt das Maximum von 0,68 C. G. S.-Einheiten dort, wo die Anomalie den größten negativen Wert, und das Minimum von 0,26 C. G. S.-Einheiten dort, wo sie den größten positiven Wert erreicht.

Eine Verschiebung der Pole und somit auch der agonischen Linien in der Richtung von Osten nach Westen ist in der Zeit von 1830 bis 1885 nur in geringem Maße wahrzunehmen. Wenn eine solche stattfindet, muß sie also sehr langsam vor sich gehen. Die agonischen Linien, auf denen die Pole liegen, sind aber nichts anderes als die Trennungslinien der östlichen und westlichen Deklination, deren Variation bereits sehr lange bekannt ist. Aus Isogonenkarten, die mehrere Jahrhunderte zurückdatieren, kann man eine Säkularvariation des Erdmagnetismus, die hauptsächlich in einer Verschiebung von Osten nach Westen besteht, wahrnehmen.

Die erste Untersuchung hierüber rührt von L. A. Bauer her. Er betrachtet die Kurve, die die verlängerte Achse einer Magnetnadel auf einer Kugel um den Schwerpunkt des Magneten beschreibt, wenn man sich in diesen Schwerpunkt versetzt denkt, und die Nadel den säkularen Änderungen der Deklination und Inklination folgt. Die Achse beschreibt auf der Kugelfläche eine ovale Linie, da eine Änderung der Deklination den Magneten zur Seite, eine Änderung der Inklination ihn nach oben oder unten bewegt. Wenn man nur den permanenten Magnetismus berücksichtigt und den Magneten auf dem Breitenkreise des Beobachtungsortes um die Erde herumgeführt annimmt, so beschreibt seine Achse infolge der steten Änderungen in Deklination und Inklination von Längengrad zu Längengrad annähernd dieselbe Kurve, als wenn der Magnet am Orte bliebe und nur den Wirkungen der Säkularvariation unterworfen wäre. Bauer kommt infolgedessen zu dem Schluß: Die Säkularvariation kommt dadurch zustande, daß das permanente Feld sich um die Erde längs der Breitenkreise verschiebt.

[1]) Carlheim-Gyllenskiöld: Sur la forme analytique de l'attraction magnétique de la terre exprimée en fonction du temps. Stockholm 1896.

Carlheim-Gyllenskiöld[1]) geht von der Überlegung aus, daß der Erdmagnetismus nicht nur eine Funktion der Länge und Breite, sondern auch noch der Zeit ist. Betrachtet man die Erde als aus der Umdrehung einer Ellipse, deren halbe große Achse gleich R, die halbe kleine gleich (1—E) R um letztere entstanden, und ist die Entfernung vom Erdmittelpunkt r, so hat Gauß[1]) unter Benutzung dieser Bezeichnungen den Wert des Potentials V durch eine nach den Potenzen von r fallende Reihe von folgender Form entwickelt:

$$V = \frac{R^3}{r^2} P' + \frac{R^4}{r^3} P'' + \frac{R^5}{r^4} P''' + \ldots \frac{R^n}{r^{(n-1)}} P^{(n-2)}$$

Die Koeffizienten P', P'', P''' usw. sind hierbei Funktionen von u und λ, wenn man mit u den Winkel, den r mit dem nördlichen Teil der Erdachse bildet, bezeichnet, und λ der Winkel zwischen der durch r und die Erdachse gelegten Ebene und einem festen Meridian ist. Die Abhängigkeit dieser Koeffizienten von λ und u ist durch den Ausdruck:

$$P^n = g^{n,0} \cdot P^{n,0} + \sum_{m=1}^{n} \left\{ g^{n,m} \cdot \cos m\lambda + h^{n,m} \cdot \sin m\lambda \right\} \cdot P^{n,m}$$

gegeben. Die $p^{n,m}$ heißen Kugelfunktionen, den Werten g und h hat Gauß den Namen der „Elemente der Theorie des Erdmagnetismus“ gegeben. Diese Koeffizienten sind nun, wie Carlheim-Gyllenskiöld annimmt, mit der Zeit veränderlich. Sind ihre Werte für verschiedene Epochen bekannt, so ist es möglich, ihre Abhängigkeit von der Zeit zu bestimmen. Aus weit zurückliegenden Beobachtungen ist etwas Genaues über eine Variation der erdmagnetischen Kraft kaum nachzuweisen, da die Beobachtungen hierüber zu ungewisse sind; jedoch sind die Beobachtungen über die Variation der Inklination und besonders der Deklination für zurückliegende Epochen sehr gut brauchbar. Gyllenskiöld geht nun in seiner Untersuchung von den von Ermann und Petersen[2]) aufgestellten Beziehungen zwischen Deklination und Inklination einerseits und den Kraftkomponenten andererseits aus,

[1]) Gauß: Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus.

[2]) Ermann und Petersen: Die Grundlagen der Gaußischen Theorie und die Erscheinungen des Erdmagnetismus im Jahre 1829. Berlin 1874.

wonach sich die Variationen der Deklination $d\delta$ und der Inklination di als lineare Funktionen von dX, dY und dZ darstellen. Die betreffenden Formeln lauten:

$$R \,.\, d\delta = -\sin\delta\, dX + \cos\delta\, dY$$

$$R \,.\, di = -\cos i \,.\, \sin i \,.\, \cos\delta\, dX - \cos i \,.\, \sin i \,.\, \sin\delta\, dY + \cos^2 i\, dZ,$$

wobei mit R die Horizontalkomponente der erdmagnetischen Kraft bezeichnet ist. Hiervon ausgehend kommt Gyllenskiöld zum Schluß seiner Theorie zu dem Resultat: Der permanente Magnetismus besteht aus verschiedenen Anteilen, die mit verschiedener gleichförmiger Geschwindigkeit die Erde umlaufen, deren kürzeste Periode 300 Jahre und deren längste 3150 Jahre beträgt.

Die Verschiebung nach Westen wird fast stets wahrgenommen, jedoch ist in bezug auf eine Bewegung von Süden nach Norden oder umgekehrt noch nichts Sicheres gefunden worden. Die Frage, ob eine Veränderung längs der Längengrade stattfindet, ist durch die von W. v. Bezold in die Lehre des Erdmagnetismus eingeführten Isanomalen des erdmagnetischen Potentials ihrer Lösung um ein Bedeutendes näher gebracht worden. Betrachtet man auf der Karte 5 die Pole der Isanomalen, so nimmt man eine deutliche Wanderung derselben in der Nord-Süd-Richtung wahr und zwar im Osten wie im Westen für die negativen und die positiven Pole eine gleichförmige. Es folgen den Polen für 1830 nach Süden hin diejenigen für 1857, dann jene für 1880 und darauf eine Umkehr der Pole für 1885 nach Norden. Die verschiedenen Lagen der Pole sind in der Tabelle 5 zusammengestellt. Als Pole sind hier im engeren Sinne die Punkte der agonischen Linien angenommen, die von den nördlichen und südlichen Scheiteln der letzten Isanomalen gleich weit entfernt sind. In der Tafel 1 sind die verschiedenen Lagen graphisch dargestellt, indem als Abszissen die Jahre und als Ordinaten die Längen beziehungsweise die Breiten aufgetragen sind. Bei den Kurven, die die Verschiebung in Breite darstellen, tritt dieselbe recht deutlich hervor. Bei den beiden anderen Kurven würde die Verschiebung der Pole bedeutend weniger wahrnehmbar sein, wenn die agonischen Linien genau von Süden nach Norden verliefen. Da ihr Verlauf jedoch ein schräger ist, so ist natürlich mit einer

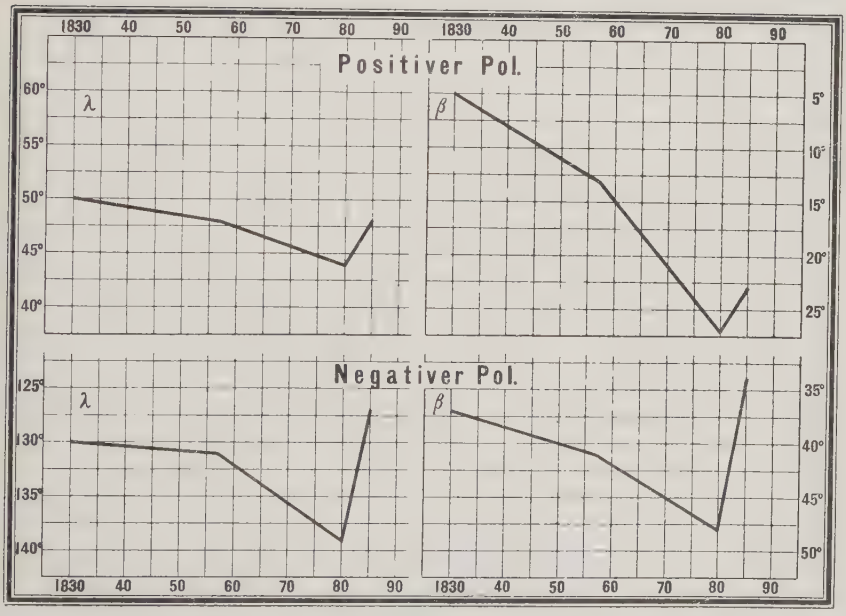
Tabelle 4.

Jahr	Pos. Pol.	Neg. Pol.
1830	+0.100	—0.070
1857	+0.100	—0.075
1880	+0.090	—0.070
1885	+0.080	—0.070

Tabelle 5.

Jahr	λ		β	
	pos.	neg.	pos.	neg.
1830	52°	130°	5°	37°
1857	48	131	13	41
1880	44	139	27	47
1885	48	127	23	34

Tafel 1.



Wanderung der Pole in der Nord-Süd-Richtung auch eine Verschiebung derselben in der Ost-West-Richtung verbunden.

Diese Pole der Isanomalen des erdmagnetischen Potentials sind nun aufzufassen als Pole von Gleichgewichtslinien eines magnetischen und zwar störenden Systems von Kräften, das man sich über ein anderes als normal gedachtes gelagert denken muß, um die tatsächlich beobachtete Verteilung zu erhalten.

Das normale Feld denkt man sich bekanntlich durch elektrische Ströme erzeugt, die um die Erde annähernd in der Richtung der Breitenkreise fließen müssen. Aus den auf das Solenoid bezüglichen Sätzen geht hervor, daß die Horizontalkomponente des normalen Erdmagnetismus durch Ströme hervorgebracht wird, die entweder in oder unterhalb der Erdoberfläche die Erde von Osten nach Westen umkreisen, oder auch durch solche, die in der Atmosphäre in entgegengesetztem Sinne verlaufen. Schuster[1]) hat nachgewiesen, daß man die Ströme, die den normalen Erdmagnetismus hervorrufen, innerhalb beziehungsweise unterhalb der Erdoberfläche suchen muß, während diejenigen Erscheinungen, die gewissermaßen als Störungen des normalen Feldes zu betrachten sind, wie auch W. v. Bezold[2]) und Birkeland[3]) ausgeführt haben, durch Ströme verursacht werden, deren Sitz man sich in der Atmosphäre zu denken hat. Ersterer weist in seiner Abhandlung gleichzeitig auch darauf hin, daß zwischen der täglichen Variation des Erdmagnetismus und der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre irgend ein, wenn auch noch nicht bekannter Zusammenhang bestehen müsse.

So wie ein Zusammenhang zwischen der täglichen Variation des Erdmagnetismus und der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre zu bestehen scheint, kann man sich auch einen Zusammenhang zwischen der Variation des anomalen Magnetismus und den Klimaschwankungen denken, die bereits 1622 von Francis Bacon erwähnt wurden, und über die unter anderen Brückner[4]) und

[1]) Schuster: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 180 (1889).

[2]) W. v. Bezold: Sitzungsbericht der Kgl. preußischen Akademie 1897, XVIII.

[3]) Birkeland: Expédition Norvégienne de 1899—1900. Christiania 1901.

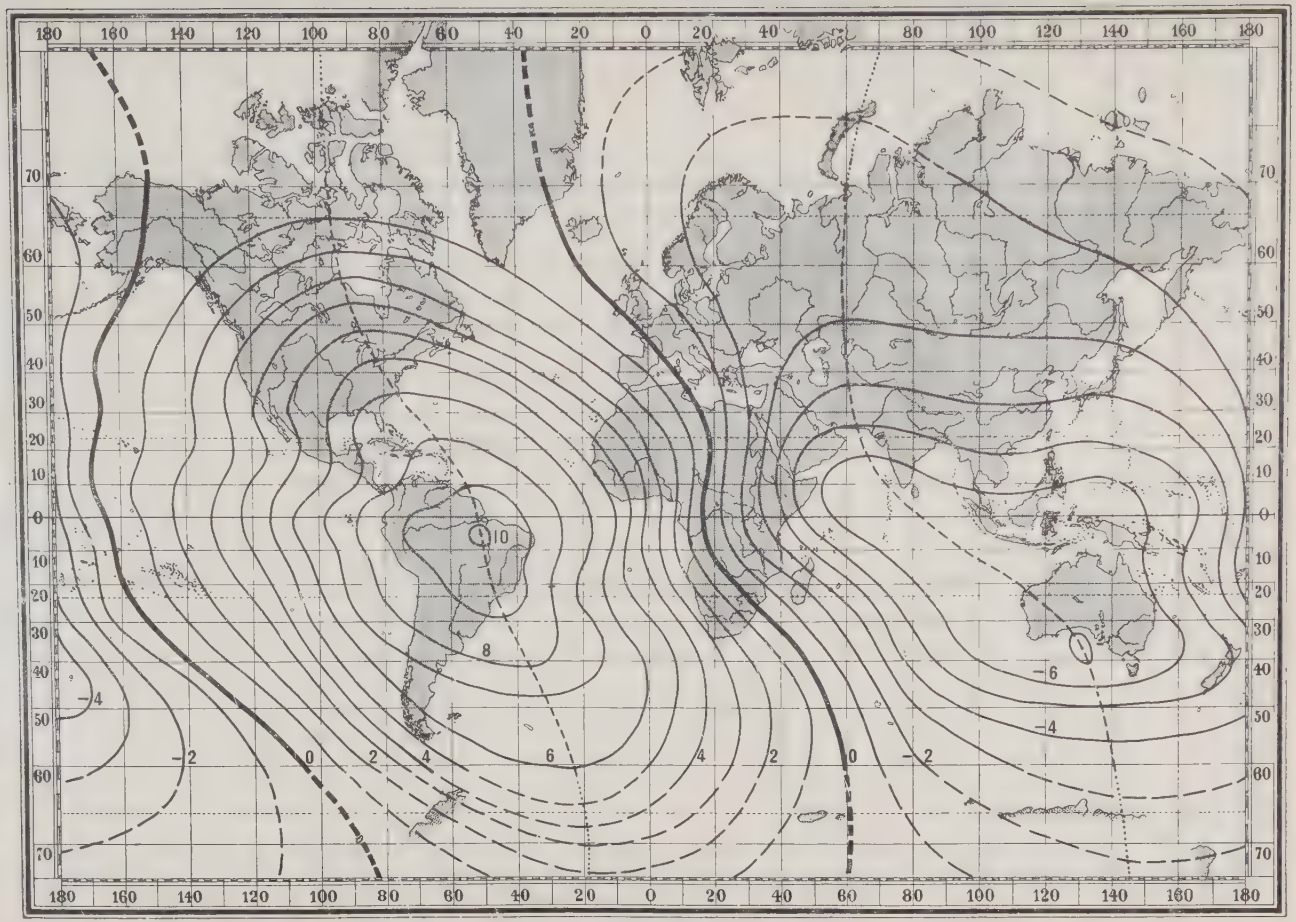
[4]) Brückner: Klima-Schwankungen seit 1700. Wien 1890.

Easton[1]) Untersuchungen angestellt haben, aus denen sich eine Periode von 35 Jahren ergibt.

Wenn sich in bezug auf den anomalen Magnetismus über eine bestimmte Periode auf Grund des vorhandenen Materials noch nichts Positives sagen läßt, so glaube ich doch auf Grund der bisherigen Ausführungen den Satz aufstellen zu können: Bei der Betrachtung der Säkularvariation des Erdmagnetismus ist zu unterscheiden zwischen der Variation des permanenten Magnetismus und der Variation des störenden Systems von Kräften, des anomalen Magnetismus. Die Variation des ersteren erfolgt in langjährigen Perioden in Richtung der Breitenkreise von Osten nach Westen, die des letzteren in bedeutend kürzeren Perioden in Richtung der Längengrade von Süden nach Norden und umgekehrt.

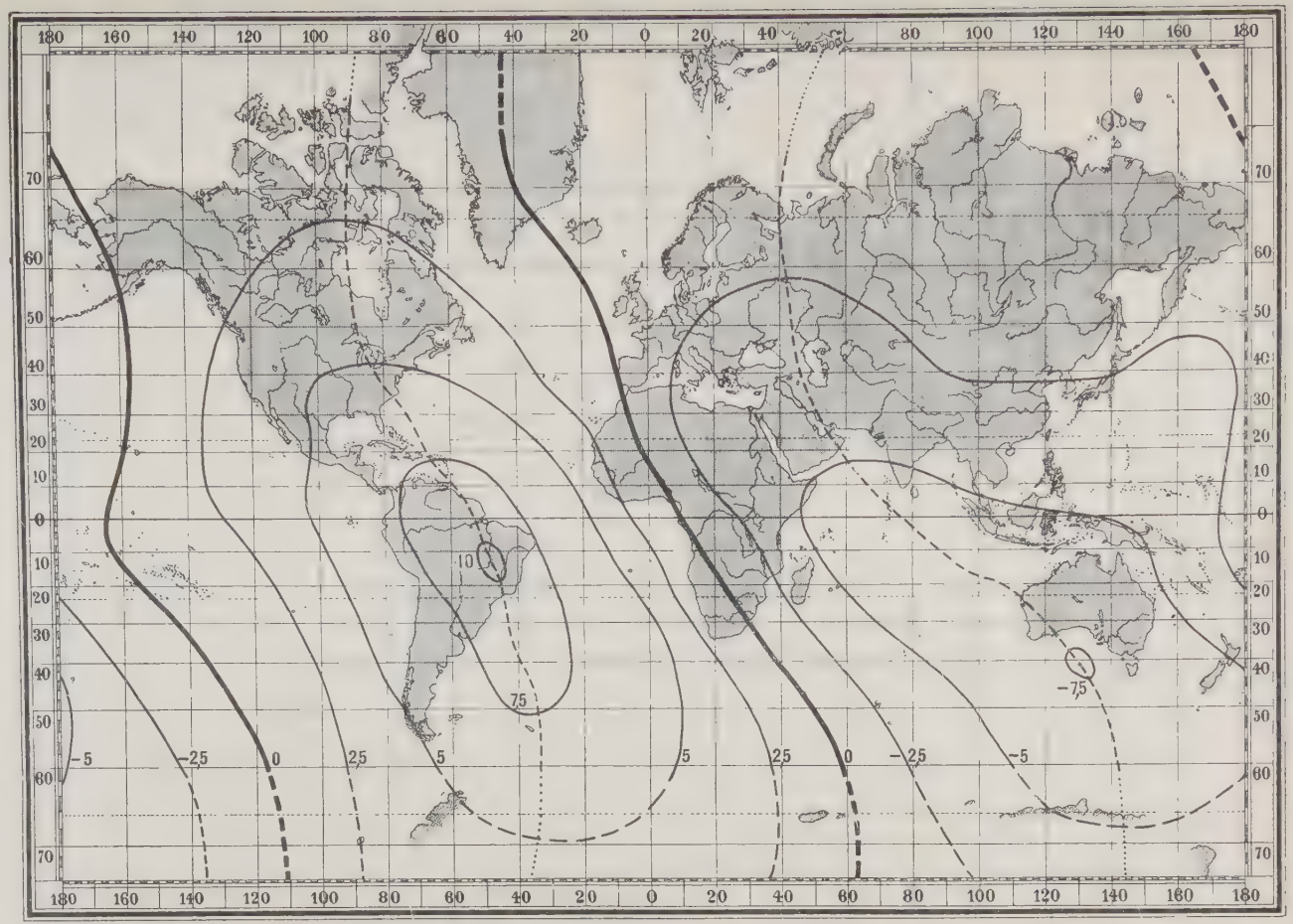
[1]) **Easton:** Petermanns Mitteilungen 1905, Heft VIII.

Karte I.



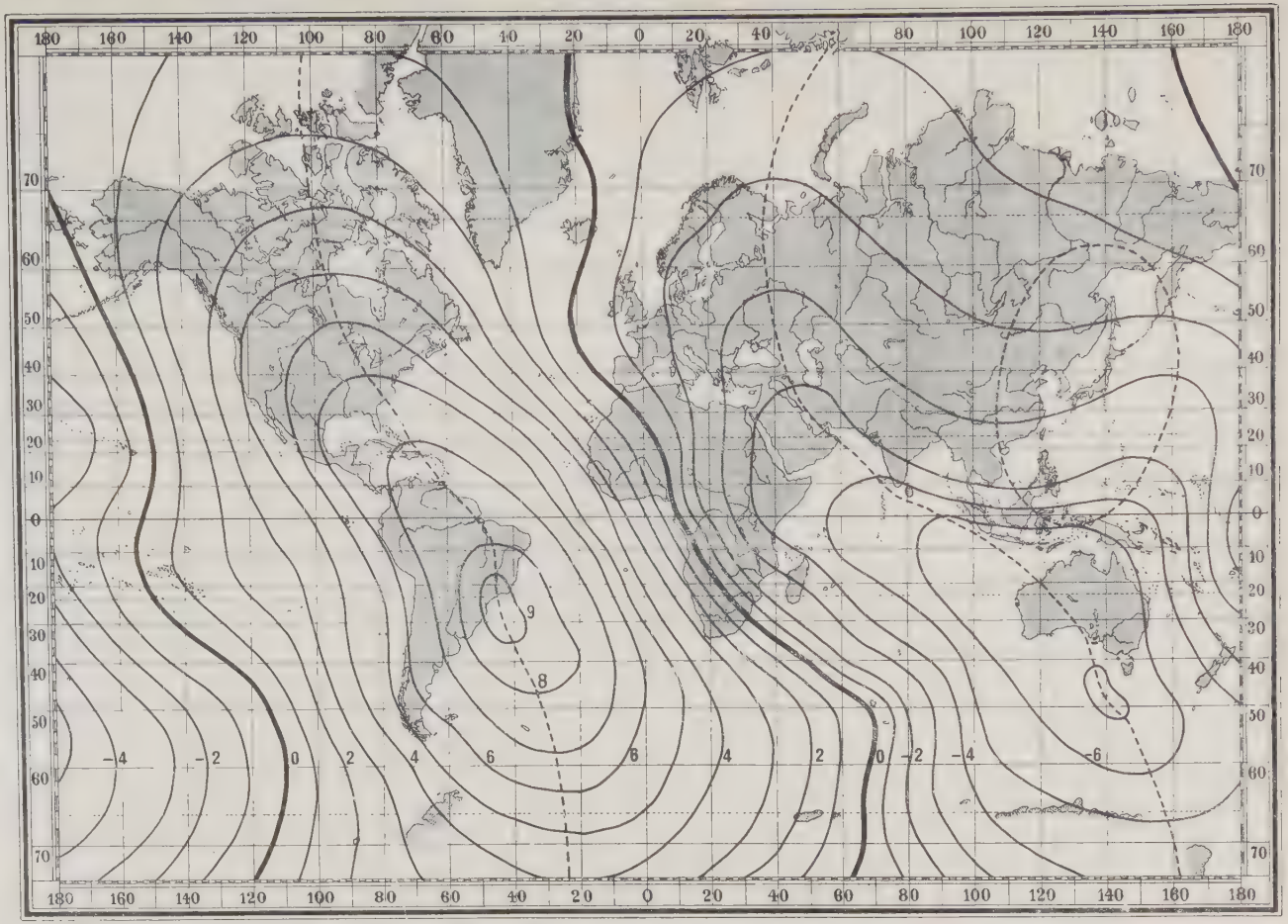
Isanomalen des erdmagnetischen Potentials für 1830.

Karte 2.



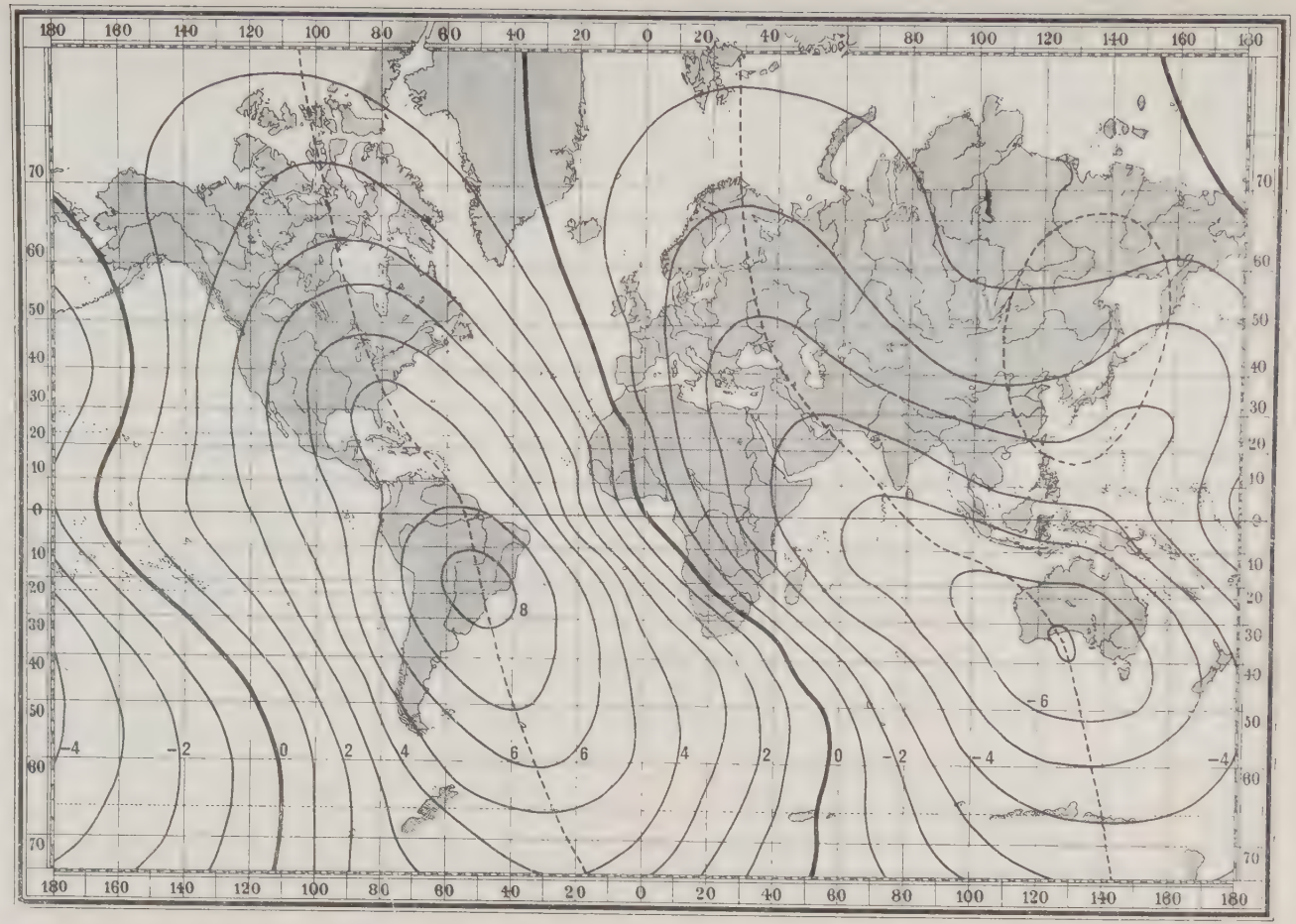
Isanomalen des erdmagnetischen Potentials für 1857

Karte 3.



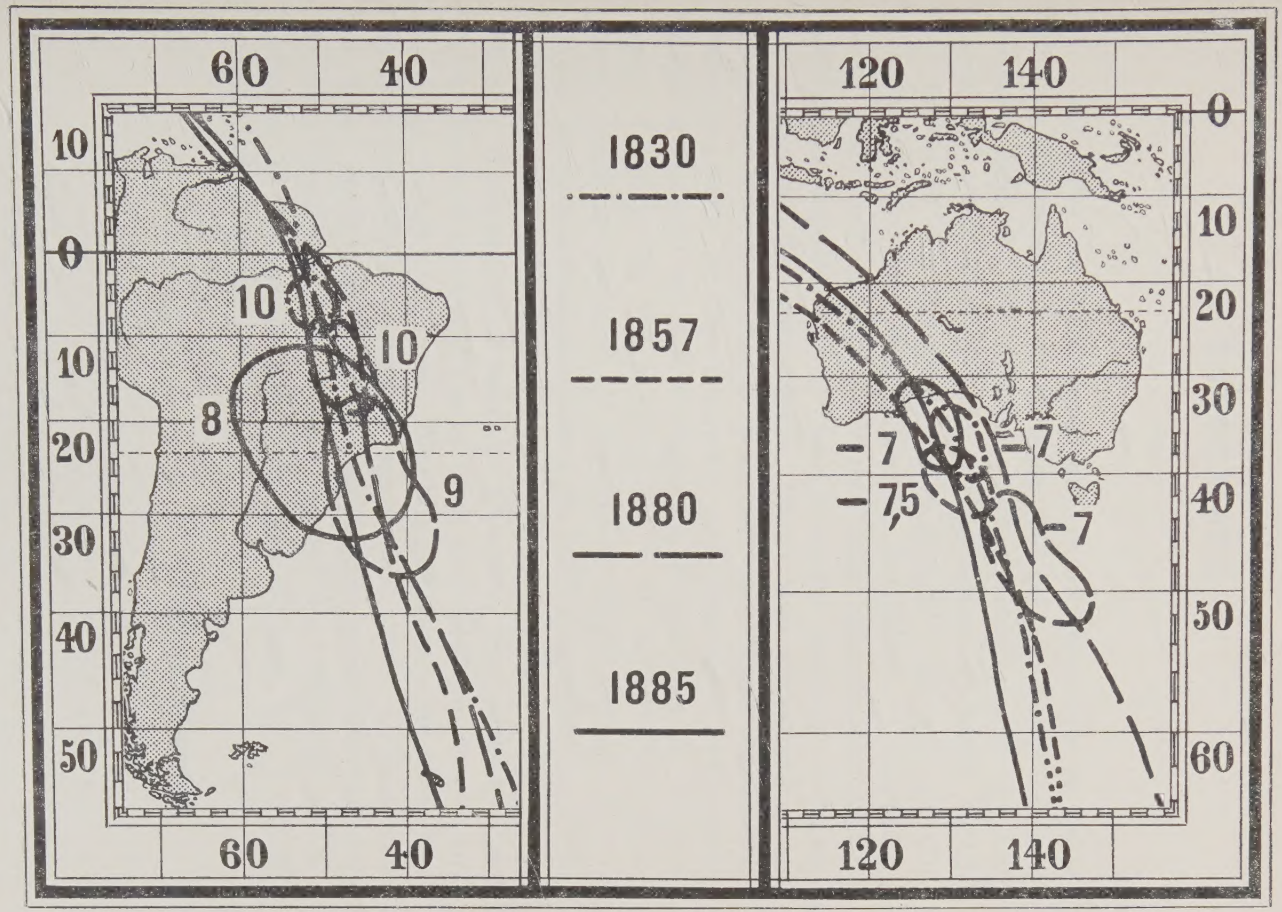
Isanomalen des erdmagnetischen Potentials für 1880.

Karte 4.



Isanomalen des erdmagnetischen Potentials für 1885.

Karte 5.



Pole der Isanomalen für verschiedene Epochen.

Lebenslauf.

Als Sohn des Bankkontrolleurs Gustav Wussow zu Calau, Provinz Brandenburg, am 15. März 1877 geboren und evangelisch getauft, besuchte ich zunächst die Stadtschule meiner Geburtsstadt und später das Friedrichs-Realgymnasium zu Berlin, wo ich im März 1897 das Maturitätsexamen bestand. Alsdann widmete ich mich technischen Studien an der Hochschule zu Charlottenburg und nach kürzerer Unterbrechung naturwissenschaftlich-mathematischen Studien an der Universität zu Berlin und zwar im besonderen der Meteorologie, Physik und Astronomie. Eine besondere Förderung erhielt meine wissenschaftliche Ausbildung, besonders nach der experimentellen und praktischen Seite, durch meine Teilnahme an den Übungen im Meteorologischen Institut unter Leitung des Herrn Geheimrat v. Bezold, sowie durch meine einjährige Tätigkeit als Assistent des Herrn Professor Börnstein am physikalischen Kabinett der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin. Vorlesungen hörte ich bei den Herren: Dziobek, Hauck, Kammerer, Paalzow, Pietsch, Servus (Charlottenburg), Aschkinass, v. Bezold, Foerster, Hoppe, Jacobson, Lasson, Starke, Stumpf, Warburg (Berlin). Die mündliche Promotionsprüfung bestand ich am 21. Mai 1906. — Es sei mir an dieser Stelle vergönnt, allen meinen Lehrern, insonderheit aber Herrn Geheimrat v. Bezold, der mir bei der Abfassung der Dissertation in liebenswürdiger Weise mit Rat und Tat zur Seite stand, geziemend zu danken.

Gustav Wussow.